

KARELIA AMMATTIKORKEAKOULU

Viestinnän koulutusohjelma

Heikki Pieviläinen

LANGATTOMAT MIKROFONIT ULKOILMATAPAHTUMASSA

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2013
Viestinnän koulutusohjelma
Länsikatu 15
FI 80100 JOENSUU
SUOMI
+358 13 260 600

Tekijä

Heikki Pieviläinen

Nimeke

Langattomat mikrofonit ulkoilmatapahtumassa

Commissioned by -

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä perehdytään ulkoilmatapahtuman äänentoistojärjestelmään, erityisesti langattomaan mikrofonitekniikkaan. Työssä selvitetään, kuinka audiojärjestelmät toimivat ääriolosuhteissa. Toiminnallisessa osuudessa käsitellään joulukuussa 2012 Nurmeksessa järjestettyä Immanuel Jouludraamaa, sen äänisuunnittelua ja -toteutusta.

Opinnäytetyön sisältö koostuu yleisöäänentoistosta, sen perusteista ja analogisesta langattomasta mikrofonitekniikasta. Esimerkkinä käytännön esitystilanteesta toimii Nurmeksien Immanuel Jouludraama. Erityisesti työssä perehdytään langattomien mikrofonien antennikaapeleina toimiviin koaksiaalikaapeleihin ja niiden häiriöihin.

Havaintojen perusteella todettiin antennikaapeleiden hyötyvaikutus toimivaan äänentoistoon. Työssä on käytetty äänitekniikan tuoreimpia teoksia, ammattilaisten kommentteja ja havaintoja sekä vuosien aikana kerättyä empiiristä tutkimusmateriaalia ulkoilmatapahtuman teknisestä toteutuksesta.

Kieli
Suomi

Sivuja
38

Asiasanat

Esitystekniikka, PA, koaksiaali, teatteri



THESIS
May 2013
Degree Programme in Applied Sciences
Länsikatu 15
FI 80100 JOENSUU
FINLAND
+358 13 260 600

Author

Heikki Pieviläinen

Title

Wireless Microphones in an Open-Air Show

Commissioned by -

Abstract

This thesis focuses on open-air event sound systems, in particular, wireless microphone technology. The thesis describes how audio systems work in extreme winter conditions. The functional part of this thesis is implementation for the Immanuel Christmas Drama organized in December 2012.

The empirical part of the thesis focused on wireless microphones, their antennas and antenna cables. As a practical example is the Immanuel Drama in Nurmes.

It was discovered that there is a huge difference between antenna cables. The project proved that winter weather conditions greatly affect the sound design. The theoretical basis for the thesis on the latest audio technology literature and professionals' tacit knowledge and experience of organizing outdoor events.

Language
Finnish

Pages
38

Keywords

Wireless microphones, PA, coaxial

1 Johdanto	5
2 Audiotekniikka esitystoiminnassa.....	7
2.1 PA-äänentoisto.....	7
2.2 PA teatterikäytössä	7
3 Langaton järjestelmä.....	8
3.1 Perusteet	8
3.2 Mikrofonit.....	9
3.3 Lähettimet.....	10
3.3.1 AKG PT 4000 -taskulähetin	12
3.3.2 Käytöstä poistuvat taajuudet	12
3.4 Antennit	13
3.5 Vastaanottimet	14
3.5.1 Diversity vastaanottimet	14
3.5.2 AKG SR 4000 -vastaanotin	15
4 Antennikaapelit	16
4.1 Koaksiaalikaapeli.....	16
4.2 Aircell 7.....	17
4.3 Heikentyminen koaksiaalissa	18
5 Signaalihäiriöt	19
5.1 Järjestelmän ulkopuoliset ja sisäiset häiriöt.....	19
5.2 Koaksiaalinen häiriöt	20
5.3 Lämpötilan ja kosteuden vaikutus	21
6 Immanuel draama	22
6.1 Immanuelin historiaa	22
6.2 Budjetti	24
7 Äänisuunnittelu	24
7.1 Projektin aloitus	24
7.2 Signaalireititys	27
8 Immanuel 2012	28
8.1 Harjoitusviikot ja kenraaliharjoitus	28
8.2 Esitys 23.12.2012.....	30
8.2.1 Maariankadun päälava	30
8.2.2 Maariankadun toinen lava	31
8.2.3 Kirkkokadun lava	32
8.2.4 Kirkkopuisto	33
9 Johtopäätökset ja yhteenveto	34
Lähteet.....	37

1 Johdanto

Opinnäytetyössäni käsittelen Nurmeksessa järjestettävän Immanuel Joulu-draaman äänentoistojärjestelmän ja äänisuunnittelun kehittymistä vuosina 2006–2013. Tuolla aikavälillä on siirrytty vanhasta 1980- ja 1990-luvuilla äänite-
tystä äänimateriaalista uuden digitaalisen äänen maailmaan. Myös playback-
tekniikasta esityksissä on luovuttu ja vanhat ääniraidat vaihdettu liveäänentois-
toon ja langattomien mikrofoniin käyttöön. Siirtymävaihe tuotti suuria ongelmia
haasteellisten olosuhteiden vuoksi, joten vuosi vuodelta esityksen äänisuunnit-
telua oli parannettava ja tarkasteltava ongelmien välttämiseksi. Langattomien
mikrofoniin signaalihäiriöiden pohjalta sain idean perehtyä tarkemmin olennai-
siin ongelmiin, jotka ilmenevät työskennellessä kovilla talvipakkasilla ulkosalla.

Olen toiminut draaman ääni- ja valoharjoittelijana vuosina 2003–2006, valoas-
sistenttina 2007–2008, valosuunnittelijana ja teknisenä tuottajana vuodesta
2009 eteenpäin ja myös äänisuunnittelussa yhdessä Otto Wahlgrenin ja tohtori
Ilkka Eiston kanssa vuosina 2011 ja 2012. Vuosien varrella olen tehnyt empiiris-
tä tutkimusta Immanuelin tekniikasta ja arkistoinut dokumentit kaluston käyttöön
ja kalustoon käytettävään määrärahaan liittyen kultakin vuodelta. Näin saa hie-
man paremman käsityksen draaman kehityksestä 2000-luvulla. Näytelmän tek-
niikasta ei aiemmin ole tehty minkäänlaista opinnäytetyötä tai tarkempaa tutki-
musta, vaikka kyseessä on yksi Pohjois-Karjalan suurimmista joulunajan tapah-
tumista.

Itse tutkivassa osuudessa käsittelen ensimmäiseksi analogisten langattomien
mikrofoniin toimivuutta ja kestävyyttä talvipakkasilla, signaalin kulkua, sen hei-
kentymistä ja vahvistamista sekä erityisesti eroja antennikaapelina käytettävien
koaksiaalikaapeleiden välillä. Tarkoituksena on perehtyä ulkoilmatapahtuman
äänentoistoon ja sen ongelmanratkaisuun, kuinka rakentaa toimiva ja häiriötön
äänentoistojärjestelmä haasteellisiin olosuhteisiin. Suurimpia ongelmia ulkoil-
matapahtuman tekniikan suhteen talvella ovat pakkasen ja kosteuden tuomat
häiriösuhteet. Erona sisätiloihin, kuten saleihin ja halleihin, ulkona tapahtuma-

tekniikan suunnitteluun on otettava maasto huomioon tarkoin: yksi pieni puu voi haitata signaalin häiriötöntä kulkua suuresti.

Langatonta mikrofonitekniikkaa on käytetty jo vuosikymmenten ajan, mutta langattomat mikrofonit ovat pysyneet silti suhteellisen kalliina vaihtoehtona varsinkin harrastajateatterin äänentoiston toteuttamisessa. Tämä näkyy jo laitehankinnassa, koska tarvittavaa määrää kohtuullisen hintaisia langattomia mikrofoneja näyttelijöille ei tahdo löytyä Itä-Suomesta. Immanuel tarjoaa myös kaikin puolin erityisen haastavat olosuhteen tekniikalle niin vuodenajan, lämpötilan, kuin maastonsa puolesta. Epäonnistumisiin ei ole varaa, koska näytelmää esitetään vain kerran vuodessa tuhatpäiselle yleisölle.

Tapahtuman suunnittelussa tulee ottaa ensimmäisenä huomioon budjetti, joka on esityksellä rajallinen. Kuinka saada vuosittain toteutettua laadukas spektakkel, jonka tulot kerätään lähinnä myyjäisillä ja kirpputoritoiminnalla? Taloudelliset paineet ovat ajaneet Immanuelin lähelle loppuaan, mutta innovatiivisella suunnittelulla ja kulujen karsimisella tämä draama esitetään vuonna 2013 25:n kerran. Suurimman taloudellisen paineen draamaan tuo kallis esitystekniikka. Vuosi toisensa jälkeen on luotava iso esitys laajalle alueelle, ilman häiriötekijöitä. Opinnäytetyöni tarkoitus on saada mutkaton ja toimiva äänentoistojärjestelmä aikaiseksi Immanuelin 25. juhlavuotta varten.

2 Audiotekniikka esitystoiminnassa

2.1 PA-äänentoisto

Tapahtumaaäänentoistoon liitetään usein sana PA-äänentoisto. PA tulee englannin kielen sanoista "public address", jolla suomen kielessä tarkoitetaan yleisöäänentoistoa. Järjestelmää käytetään yleensä suurissa yleisötapahtumissa, joissa tarvitaan suurta äänenpainetta kuuluvuuden takaamiseksi, esimerkiksi rock-konserteissa, festivaaleilla, teattereissa, jumppatunneilla, marketeissa ja toreilla. (Lepoluoto & Blomberg 2005, 195.)

PA koostuu mikrofoneista, esivahvistimista, päätevahvistimista, PA-kaiuttimista, monitorinnista, sekä lisävarusteina käytettävistä miksereistä, kompressoreista, kaikulaitteista, taajuuskorjaimista ja prosessoreista. Mikrofonin signaali vahvistetaan esivahvistimella linjatasoiseksi, jolloin sen käsittely helpottuu. Vahvistettu signaali siirtyy päätevahvistimille, josta kaiutintasoinen signaali ohjataan edelleen PA-kaiuttimiin. (Haaranen & Sandholm 1994, 141–151.)

Kaiuttimia voi olla kappalemääräisesti useita kaiutinjärjestelmästä riippuen. Pie-nimmät järjestelmät pitävät sisällään mikrofonin, pääte- ja esivahvistimen, sekä muutaman kaiuttimen. Suurimmat line-array sekä monikanavajärjestelmät voivat pitää sisällään useita kymmeniä PA-kaiuttimia. Tyypillisen klubi PA:n vahvistinteho on muutamia kilowatteja, kun taas suurempitehoinen rock-konsertti PA tarvitsee huomattavasti suurempia energiamääriä, jopa satoja kilowatteja. (Lepoluoto & Blomberg 2005, 202–204.)

2.2 PA teatterikäytössä

PA-järjestelmiä on käytössä teattereissa ympäri maailman. PA tukee näyttelijäntyötä niin puhe- kuin musiikkiesityksissä. Sillä pystytään luomaan äänimaailmoja, joilla katsojat saadaan mukaan esityksen illuusioon. Äänentoiston käyttö ei ole pelkästään itsetarkoitus, vaan se on tarkoitettu esityksen ja ennen kaik-

kea näyttelijöiden tueksi. Tarkoituksena on pyrkiä äänen hyvään kuuluvuuteen ja tasapainoon. Näin päästään yhteistyöhön ohjaajan, näyttelijöiden ja tekniikan välillä parhaan lopputuloksen saamiseksi.

PA-järjestelmän avulla pyritään vahvistamaan äänen kuuluvuutta yleisölle, mutta myös parantamaan ja tasapainoittamaan eri äänilähteiden keskinäistä balanssia. (Lepoluoto & Blomberg 1993, 203.) Ulkoilmateatterissa PA:n merkitys korostuu, sillä matkaa näyttämöltä viimeiseen katsojaan saakka voi tulla useita kymmeniä metrejä.

3 Langaton järjestelmä

3.1 Perusteet

Langattomia mikrofonijärjestelmiä on ollut teatterikäytössä jo 1980-luvulta lähtien ja ne ovat yleistymässä koko ajan. Nykyisin langattomia mikrofoneja näkee teatterin ja muun ammattikäytön ohella jo muun muassa lähikuppilan karaokesa, sekä liikuntahallin zumba tunneilla. Eri olosuhteissa langattomat järjestelmät suunnitellaan erikseen tilanteen mukaan. Immanuelissa olemme ulkona vuoden kylmimpään aikaan ja käsittelen analogisten järjestelmien tilannetta ulkoilmasa. Useimpia järjestelmiä ei ole suunniteltu ulkokäyttöön eikä myöskään toimimaan Suomen kovissa pakkasissa.

Langattoman mikrofoniin käyttö tekee näyttelijän työn helpommaksi ja liikkumisen vapaammaksi. Langattomien mikrofoniin perusajatuksena on korvata mikrofoni johto radioyhteydellä. Näin vältetään sitovilta kaapeleilta ja saadaan näyttelijöille enemmän liikkumavaraa näyttämöllä. Järjestelmä koostuu mikrofoni, lähettimestä, vastaanottimesta sekä mahdollisista lisäantenneista. Esiintyjillä on päässään headset-nappimikrofoni, josta audiosignaali siirtyy mini-xlr-kaapelia pitkin radiolähettimeen. Lähetin moduloi eli muuntaa audiosignaalin radiosignaaliiksi ja lähettää sen äänijärjestelmän vastaanottimeen. Vastaanottimen antenni ottaa vastaan taajuusmoduloidun radiosignaalin, joka vastaanottimessa

itsessään muuntuu jälleen audiosignaaliiksi. Vastaanotin puolestaan on liitetty mikserin kautta PA:han ja miksaus tapahtuu kuten normaalia audiosignaalia käsiteltäessä. (Lehto 2006, 129–130.)

Langattomassa tekniikassa audion siirtoon käytetään taajuusmodulointia, jossa kantoaaltoon liitetään informaatiota muuntamalla kantoaallon ominaisuuksia niin, että vastaanotin kykenee havaitsemaan muutoksen. Analogisessa tiedonsiirrossa signaalin aaltomuodon kokemat häiriöt ja ”kolhut” ovat peruuttamattomia. Modulaatiomenetelmiä on monia. Analogisessa modulaatiossa esimerkiksi kantoaallon amplitudi tai taajuus muuttuu portaattomasti samalla tavalla kuin moduloiva signaali. Taajuusmodulaatio eli FM-modulaatio on käytetyin modulaatiotyyppi sen suuren häiriöttömyyden takia. Sillä pystytään siirtämään leveäkaistainen audiosignaali, jonka toistoalue on 20-20 000 hertsiä (Hz). Se riittää mainiosti näyttelijän puheäänien siirtoon ja myös vaativaan musiikkikäyttöön. (Haaranen & Sandholm 1994, 122–124; Lehto 2006, 129–132.)

Laajalla ulkoilmatapahtuma-alueella langaton järjestelmä kohtaa monia haasteita. Langattoman signaalin tiellä on tapahtumapaikoilla monenlaisia esteitä, kuten puita, rakennuksia ja maaston aiheuttamia signaalin blokkajia. Myös sääolosuhteet on otettava huomioon. Ilman kosteus ja lämpötila heikentävät audiosignaalia ja aiheuttavat erilaisia häiriöitä kaapeloinnissa, johon palaan myöhemmin opinnäytetyössäni.

3.2 Mikrofonit

Radiomikrofoni eli langaton mikrofoni on laite, jolla puhetta tai musiikkia siirretään langattomasti. Mikrofoneja on kahdenlaisia: kädessä pidettäviä kapulamikrofoneja ja näyttelijän asusteisiin tai vartaloon kiinnitettäviä nappimikrofoneja sekä korvamonitoreja. Radiomikrofoneja käytetään esimerkiksi toimittajan työssä, studioissa, teattereissa, orkestereissa, messuilla, elokuvatuotannoissa ja karaokessa (Viestintävirasto 2012). Teatterikäytössä yleisimpiä ovat nappimikrofonit, joiden sijoittaminen, piilottaminen, sekä äänen taltiointi on helpompaa.

Ammattimaisessa teatterissa nappimikrofonit teipataan esimerkiksi näyttelijän poskeen tai otsaan ihoteipillä. (Riitamaa 2008, 14.)

Mikrofonin sijainti ja etäisyys äänilähteestä on akustisen kierron kannalta tärkeää: mitä lähemmäs mikrofoni saadaan puhujaansa, sitä suurempi akustinen vahvistus audiojärjestelmällä on mahdollista saada ilman kiertoa (Blomberg & Lepoluoto 1993–2005, 212). Akustisen kierron häiriö aiheuttaa yleisössä esityksen illuusion rikkoutumisen sekä huonon teatterielämyksen. Audiotekniikan virheet jäävät yleensä yleisön muistiin helposti (Blomberg & Lepoluoto 1993–2005, 207).

Immanuelissa käytössä ovat AKG:n CK77 WR-L/P pallokuvioiset (omnidirectional) nappimikrofonit (AKG C577 WR & CK77 User Manual 2013, 2–3). Ne on kiinnitetty näyttelijöiden päähän head setillä. Mikrofonit ovat yhdistetty mini-xlr-plugilla lähettimiin ja ne toimivat lähettimien 1,5V AA-paristoilla. Ne ovat myös kestopolaroidut, joten niissä on ulkoisesta jännitteestä riippumaton varaus. (Blomberg 1989, 136.) Lisäksi muutamassa kohtauksessa on turvauduttu myös AKG:n CK 98 suuntaaviin haulikkomikrofoneihin sekä Audiotechnican AT3031 -mikrofoneihin varasuunnitelmana langattomien mikrofonien kantaman sekä kappalemääräisen riittämättömyyden vuoksi.

Parhaan lopputuloksen kannalta mikrofonin toimivuuteen vaikuttavat ennen kaikkea sen laatu ja sijainti. Ulkona käytettäessä myös mikrofonin suojaus on tärkeää erilaisten tuulen aiheuttamien häiriöitten välttämiseksi. Tuulisuoja on ehdoton väline tähän käyttötarkoitukseen (Haaranen & Sandholm 1994, 118–119).

3.3 Lähettimet

Lähettimien perustehtävä on ottaa sisään analogista audiosignaalia ja lähettää se eteenpäin vastaanottimelle moduloituna signaalina. Lähettimet toimivat lukuisilla eri tekniikoilla, riippuen valmistajista ja valmistajien eri malleista. (Haaranen & Sandholm 1994, 126–128.) Nykyisin yhä useampi langaton järjestelmä

toimii digitaalisesti. Monet analogiset järjestelmät on mahdollista muuttaa kokonaan tai osittain digitaalisiksi. Digitaalitekniikka mahdollistaa paremman äänenlaadun ja laitteen toimivuuden. (Riitamaa 2008, 13.) Lähettimet toimivat ilman johtoa, joten niiden ainoana virranlähteenä toimivat joko paristot tai akut. Lähettimet toimivat yleensä 1,5 voltin tai 9 voltin jännitteellä. Hyvissä olosuhteissa paristokäyttöinen lähetin toimii yleensä vajaat kymmenen tuntia ilman varauksen laskun aiheuttamia häiriöitä. Akuilla toiminta-aika on lyhyempi.

Lähettimien sijoittelulla näyttelijän kehoon on suuri rooli signaalin kuuluvuuden kannalta. Näyttelijän etupuolelle vyöhön kiinnitettynä lähetin olisi parhaassa paikassaan eikä vartalo blokkaisi signaalia. Lähetin kuitenkin näyttää visuaalisesti huonolta etupuolelle kiinnitettynä sekä vaikeuttaa liikkumista. Kyljessä, vyöllä lähetin on myös piilossa, mutta lähettimien antennit ovat herkkiä rikkoutumaan ja taittumaan, joten niiden liikaa koskettelua ja hankautumista tulisi välttää. Näyttelijän sivuilla hankaus on siis suurinta, käsien liikkuesssa. Parhaana vaihtoehtona, sekä visuaalisesti että teknisesti lähetin sijoitetaan usein näyttelijän selkäpuolelle. Myös selkäpuolella ristiselän kohdalla näyttelijän vaatteiden alla lähetin on arassa paikassa ja se kastuu mahdollisesti hiestä, jolloin lähetystaajuus muuttuu ja aiheuttaa voimakkaita häiriöitä. (Haaranen & Sandholm 1994, 126–128.)

Langattomien mikrofoniin lähettimille on myös suunniteltu erilaisia suojauspusseja, jotka voidaan kiinnittää omalla vyöllään tai henkselein kiinni näyttelijään. Mikkipussien materiaalilla ja tekotavalla on väliä, kuitenkin tärkeintä on, että se suojaisi lähetintä erilaisilta häiriötekijöiltä, esimerkiksi putoamisilta, kosteudelta, staattiselta sähköltä sekä kylmyydeltä ja hankautumisilta. Suojapusseista esimerkkinä kemiallisella reaktiolla toimivat ja lämpenevät pussit, joissa eri yhdisteiden mm. rautajauheen, veden, aktiivihillen, puujauheen, suolan ja vermikulii-tin altistuminen ilmalle aiheuttavat kemiallisen reaktion ja tuottavat lämpöä. Pusseja on saatavilla myös erilaisin yhdistein varusteltuna, jotka tuottavat myös ilman kanssa samankaltaisen reaktion. Lähettimen sijainti, suojaussi tai vastaava eivät saisi kuitenkaan estää lähettimestä lähtevää signaalia. Tämä kaikki on otettava huomioon ennen esitystä ja laitteen sijoittelua.

Lähettimeen tulee signaali mikrofonilta mikrofonikaapelia pitkin. Liitettävä mikrofonijohto voi olla joko irrotettava tai sitten kiinteästi asennettu. Yleensä johto kannattaa kuitenkin teipata lähettimeen kiinni, mikä ehkäisee johdon kiinnityksen rikkoutumista, sekä toimii vedonpoistona. Tim Vearin (2003) mukaan hyvä lähettimeen sisään tuleva signaali on tietyn taajuuskaistan rajoissa ja sen jännite on sopiva lähettimeen nähden. Tyypillisesti signaali on joko mikki- tai linjatasoinen, ja lisäksi impedanssin tulee olla sopiva lähetintä ajatellen.

3.3.1 AKG PT 4000 -taskulähetin

AKG PT 4000 on taskulähetin, joka toimii FM-moduloituna lähettimeenä, jonka taajuusalue on valittavissa alueiden 650 MHz ja 820 MHz tai 835–862 MHz väliltä. Sen lähettämä audiokaista on leveydeltään 35-20 000 hertsiä, joten se kattaa ihmisäänen hyvin ja toimisi myös instrumenttikäytössä, joita Immanuelissa ei ainakaan toistaiseksi ole käytössä.

Kanavia PT 4000-sarjan lähettimeessä on valittavissa 1200 kappaletta. Taajuusalueen portaaton säätö on hyväksi, koska käytössä on samanaikaisesti useita langattomia mikrofoneja. Jotteivät mikrofonit häiritsisi toisiaan samoilla aallonpituuksilla, niin niiden taajuudet tulee asettaa tarpeeksi etäälle toisistaan, jolloin häiriöitä ei pääse syntymään. Pienin suositeltu taajuusero on yleensä ilmoitettu langattoman laitteen ohjekirjassa.

3.3.2 Käytöstä poistuvat taajuudet

Suomessa käytössä olevat langattomien mikrofonien taajuusalueet tulevat muuttumaan vuoden 2013 loppuun mennessä, jolloin käytöstä poistuu huomattava osa Suomen langattomista järjestelmistä, joita ei ole mahdollista päivittää uudelle taajuuskaistalle. Suurin osa langattomista mikrofoneista toimii 800MHz:n taajuusalueella ja juuri tämä taajuusalue poistuu mobiililaajakaistan käyttöön. Langattomien mikrofonien käyttöön on osoitettu seuraavat taajuusalueet:

- 174–230 MHz (TV-VHF) Käyttö luvanvaraista
- 470–694 MHz (TV-UHF) Käyttö luvanvaraista
- 694–789 MHz (TV-UHF) Käyttö luvanvaraista ja taajuudet käytettävissä enintään 31.12.2020 asti
- 790–822 MHz Käyttö luvanvaraista ja käyttö päättyy 31.12.2013
- 854–862 MHz (UHF) Käyttö luvanvaraista ja käyttö päättyy 31.12.2013
- 1785–1800 MHz (UHF) Käyttö luvanvaraista
- 823–832 MHz (UHF) Käyttö luvasta vapaata
- 863–865 MHz (UHF) Käyttö luvasta vapaata.

Luvasta vapautuksen edellytyksenä on, että käyttäjän valittavissa on taajuuksia ainoastaan väliltä 823–832 MHz ja/tai 863–865 MHz. Käyttäjän valittavissa ei saa olla muita taajuuksia. Käytöstä poistuvat alueet siirtyvät langattomien 3G ja 4G tiedonsiirtoverkkojen käyttöön. (Viestintävirasto 2012.)

3.4 Antennit

Antenni vastaanottaa radiotaajuuudet ja siirtää ne antennikaapelia pitkin vastaanottimelle. Voimakasta signaalia vastaanotettaessa antennina voi toimia mikä tahansa sähköä johtava lanka. Kun signaali on heikko ja ilmassa on muitakin häiritseviä radioaaltoja, tarvitaan hyvä ja tarkka antenni. Antennin tärkeimpiä piirteitä käytön kannalta ovat suuntakuvio, vahvistus, sovitin, polarisaatio ja käytännön kannalta koko ja paino. (Lehto 2006, 136–137.)

Antenni itsessään ei vahvista signaalia, vaan vastaanottaa ja lähettää signaalia samaisella tai jopa heikommalla teholla johtuen heijastuksista ja häviöistä. Teatterikäytössä antennille tulevan signaalin vahvistus tapahtuu esivahvistuksella. Antennina Immanuelin äänentoistojärjestelmässä toimi AKG:n RA 4000 B/W, joka kattaa 500–865 MHz:n taajuusalueen (Kuva 1). Antenneja on olemassa kaksi kappaletta, mutta esityksessä vain toista siirretään kauimmaisille lavoille vajaan sadan metrin matka. Toinen antenni on lyhyemmän antennikaapelin

päässä, aivan päänäyttämön tuntumassa. Kahden antennin diversity–tekniikan tuoma hyöty kuuluu vain päälavalla.



Kuva 1. AKG RA 4000 B/W, 50 ohmin UHF–antenni (Kuva: Heikki Pieviläinen 2013).

3.5 Vastaanottimet

3.5.1 Diversity vastaanottimet

Vastaanotin vastaanottaa lähettimen lähettämää radiosignaalia. Diversity-vastaanotin eli kaksoisvastaanotin, jossa vastaanottimet ottavat kukin vastaan omaa taajuuttaan ja suodattavat häiriötaajuuksia pois. Siinä on käytännössä kaksi samalla taajuudella toimivaa vastaanotinta samassa paketissa. Kumpaankin vastaanottimeen on kytketty oma antenninsa. Vastaanottimen virtapiiri valitsee paremman signaalin antavan (sisäisen) vastaanottimen ja johtaa signaalin näiden yhteiseen audiolähtöön. Toisen signaalin heikentyessä vastaanotin käyttää aina paremman signaalin antavaa antennia. On epätodennäköistä, että myös eri paikassa sijaitsevan toisen antennin signaali heikentyisi samanaikaisesti huomattavan paljon.

3.5.2 AKG SR 4000 -vastaanotin

SR 4000 -vastaanotin kuuluu samaan sarjaan AKG:n lähettimien, mikrofonien ja antennien kanssa. Näin saadaan aikaan paras mahdollinen toimivuus laitteiden välillä. Vastaanottimet ottavat kukin vastaan omaa taajuuttaan ja suodattavat häiriötaajuuksia pois. (Kuva 2).



Kuva 2. AKG SR 4000 -antennivastaanotin (neljä yksikköä). Audiosignaali tulee antennilta vastaanottiin oikealla puolella olevia BNC-kaapeleita pitkin ja linkitetään seuraaviin vastaanottimiin vieressä olevista, kuvassa tyhjillään olevista ulostuloista. Kuvan vasemmassa alalaidassa audiosignaali siirtyy xlr-kaapeleita pitkin mikserille. (Kuva Heikki Pieviläinen 2012.)

4 Antennikaapelit

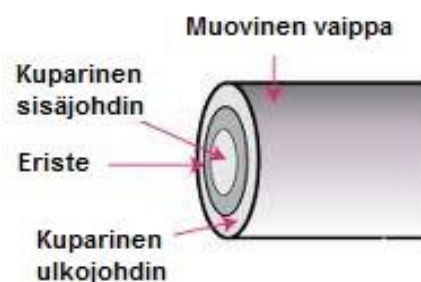
4.1 Koaksiaalikaapeli

Koaksiaalikaapeli eli BNC-kaapeli on antennikaapelia, siirtolinja, joka siirtää korkeataajuuksista sähkömagneettista kenttää paikasta toiseen. Tutuin käyttökohte koaksiaalikaapelille on television antennijohto. Muita käyttökohteita ovat muun muassa elektroniikka- ja tietoliikennesovellukset. (Wikipedia a, 2013.)

Radioliikenteen antennisyötoissä käytetään koaksiaalikaapeleita, joiden impedanssi on 50Ω (Kuva 3). Yleisimpiä kaapeleita perusominaisuuksiltaan ovat RG-tyypin kaapelit, joita voidaan käyttää lyhyisiin kaapelivetoihin. Kaapeleiden rakenteet noudattavat samoja periaatteita kuin muidenkin yhteisantennikaapeleiden rakenteet: sisäjohtimena on kuparilanka, eristeenä pienihäviöinen vaahdotomuovi, sekä ulkojohtimena joustavuutta kestävä, korrugoitu kupariputki ja vaippana musta polyeteenimuovi. (Koivisto 2010, 33.)



Koaksiaalikaapeli



Kuva 3. Kuvassa vasemmalla on Immanuelissa vuonna 2012 käytetty koaksiaalikaapeli Aircel 7, oikealla läpileikkaus samaisesta kaapelista. (Kuva Heikki Pieviläinen 2012).

Kaapeleissa, joilta vaaditaan taivuteltavuutta esimerkiksi liikuteltavaa käyttöä tai puolikiinteää asennusta varten, sisäjohtimena on kuparilangan sijasta säikeinen kuparijohdin. Tällainen johdinrakenne aiheuttaa hiukan suuremman vaimennuk-

sen vastaavaan lankamaiseen johtimeen verrattuna. Koaksiaalikaapeleiden sisäjohtimien halkaisija on yleensä kaapelista riippuen 0,4-8,0 mm:n väliltä. (Hovatta & Ristilä 2008, 152.)

Eriste toimii tukirakenteena ja johtimien välitilan täyttävänä aineena sekä sillä on keskeinen merkitys kaapelien siirto-ominaisuuksien kannalta. Yleisin eristemateriaali on PE-muovi, joka on mekaanisesti lujin eristerakenne, mutta samalla vaimennuksen kannalta epäedullisin. Eristeen on oltava homogeenistä ja sen halkaisijan on oltava tarkkaan vakio. Pienet halkaisijan vaihtelut heikentävät olennaisesti kaapelin heijastusvaimennusta. Eristeen halkaisija vaihtelee 3,7–24 mm:n väliltä kaapelityypistä riippuen. (Hovatta & Ristilä 2008, 153.)

Verrattuna 75Ω -kaapeleihin, on 50Ω -kaapeleiden rakenneosien mittasuhteissa eroja johtuen eri impedanssitasosta. Myös sähköisen toiminnan kannalta on tärkeää erottaa nämä kaksi eri impedanssitasoa toisistaan. Oikein päätetyn koaksiaalikaapelin kumpaankin päähän kytkettävän laitteen impedanssin on oltava sama kuin koaksiaalikaapelin ominaisimpedanssi: muussa tapauksessa syntyy yleensä haitallisia vaimentavia seisovia aaltoja. (Koivisto 2010, 37; Wikipedia a 2013.)

4.2 Aircell 7

Immanuelissa antennikaapelina toimii Aircell 7-kaapeli, joka on 7,3 mm paksu ja taipuisa. Se soveltuu niin sisä- kuin ulkokäyttöön lämpötilan ollessa -30°C:n ja +80°C:n välimaastossa. Kovista pakkasista johtuen ulkokäyttö kuitenkin heikentää kaapelia, koska taivutuskulmat tulevat niin suuriksi, jolloin kuparin säikeiden katkeaminen tulee mahdolliseksi ja antennikaapeli menettää tehoaan. Minimitaivutussäde Aircell 7-kaapelilla on 25 mm. Kaapelin sisusta on foam-täytteinen, joten sen sisään ei kondensoidu vettä. (Paratronic 2011.)

4.3 Heikentyminen koaksiaalissa

Äänisignaali heikentyy jonkin verran matkatessaan koaksiaalikaapelin läpi. Tähän vaikuttavat muun muassa lämpötila ja taajuus: koaksiaalikaapeleiden vaimennus ilmoitetaan yleensä +20 celsiusasteen lämpötilassa. Vaimennus kasvaa 0,2% lämpötilan kohotessa tai laskiessa yhden asteen verran. Talvipakkasilla toimittaessa -30 asteen lämpötiloissa vaimennus kasvaa 10 prosenttiyksikköä. (Koivisto 2010, 34; Hovatta & Ristilä 2008, 156.) Myös mitä korkeampi taajuus on käytettävissä, sen suurempi vaimennus on. RF-taajuuksilla virrat kulkevat kaapelin pinnalla eivät kaapelin sisällä. (Paratronic 2011.) Kaapelin vaimennukseen vaikuttavat johtimen paksuus, sisäinen resistanssi, materiaali ja eristyspinnan rakenne. Parhaan tuloksen saa kaapeleilla, jotka eivät ole yhtenäistä massaa vaan ns. ontelo/kennorakennetta. (Suhonen 2012, 19–23.)

Yli 10 MHz:n taajuuksilla vaimennuskaava on $\alpha = a \sqrt{f} + fb$, missä alfa on vaimennus desibeleissä sataa metriä kohti, a ja b ovat kaapelille ominaisia vakioita (johdin- ja eristehäviöstä riippuvia kertoimia) ja f merkitsee taajuutta (MHz). Kaava pätee ohuilla koaksiaalikaapeleilla taajuusalueella 5-1000 MHz. Vaimennus kasvaa suoraan verrannollisesti taajuuden neliöjuureen: taajuuden nelinkertaistuessa vaimennus kaksinkertaistuu. (Koivisto 2010, 34.)

100 metrin matkalla on jännitehäviö Aircell 7 -koaksiaalikaapelissa 0,114 mV. Tämä saadaan peruslaskukaavalla $I = U / R$, jossa lähettimen jännite jaetaan johdon ominaisvastuksella ja saadaan näin ollen virran määrä: eli $0,008V : 3500\Omega = 2,286 \cdot 10^{-6}A$, jonka jälkeen $U = R \cdot I$, eli kaapelin impedanssi $50\Omega \cdot 2,286 \cdot 10^{-6}A = 1,143 \cdot 10^{-4}mV \approx 0,114mV \approx 114\mu V$ (mikrovolttia), eli 41 dBuV ja -19 dBmV (Naval Electronics 2003) Kaapelin pituus tulisi pitää mahdollisimman lyhyenä, jotta heikentymistä ei syntyisi kaapelissa niin paljon.

Kuvassa 4 on vertailua kaapeleiden aiheuttamista vaimennuksista 500-1500MHz väliltä. Mukana ovat vertailun vuoksi RG-luokan kaapelit.

Taajuus	AIRCELL 5	AIRCELL 7	ECOFLEX 10 STD HEATEX 10 STD	ECOFLEX 10 PLUS HEATEX 10 PLUS	ECOFLEX 15 STD HEATEX 15 STD	ECOFLEX 15 PLUS	RG 58	RG 213
500 MHz	21,6	14,7	9,6	9,6	6,7	6,2		
1000 MHz	31,1	21,5	14,2	14,0	9,8	9,1	54,6	22,5
1296 MHz	35,7	24,8	16,5	16,2	11,4	10,5		
1500 MHz	38,6	27,1	17,9	17,6	12,4	11,4		

Kuva 4. Koaksiaalikaapeleiden vaimennuskaavio. 50 ohmin kaapeleiden vaimennus dB/100 metriä +20 celsiusasteen lämpötilassa (Kuva Paratronic 2013/Heikki Pieviläinen 2013).

RG-58 tyyppin kaapelit sopivat vain lyhyille alle 50 metrin matkoille. Pitkiä vetoja vetäessä tulee ehdottomasti käyttää Aircell, Exoflex tai Heatex luokan kaapeleita, jolloin vaimennus on huomattavasti pienempi (Paratronic 2013).

5 Signaalihäiriöt

5.1 Järjestelmän ulkopuoliset ja sisäiset häiriöt

Äänentoistojärjestelmään ulkopuolelta tulevia häiriöitä ovat muun muassa: verkkohurina, himmenninpirinä, puolijohdesäätimien häiriöt, releiden ja muiden kytkentälaitteiden kytkentäpiikit sekä langattomilla mikrofoneilla radiotaajuiset (FM, AM) häiriöt. (Blomberg & Lepoluoto 1993–2005, 120). Äänentoistolaitteistot tulisi sijoittaa erilleen valaistuskaluston kanssa. Laajassa ulkotilassa audio-kaapeleiden veto on suhteellisen helppoa vetää kokonaan eri reittiä kuin muiden järjestelmien johdot. Jos tilanne vaatii kaapeloinnin vientiä samaa reittiä pitkin, samansuuntaiset eri järjestelmien johdot on pidettävä mahdollisimman kaukana toisistaan. Jos linjoja joudutaan risteyttämään, on se tehtävä koh-tisuorasti, jotta häiriöitä ei pääse indusoitumaan esimerkiksi valojen himmennin-

linjoista. (Haaranen & Sandholm 1994, 241.) Audiokaapelit tulee myös oikaista, sillä kelalla olevat johdot voivat toimia antennina ja siepata häiriötä aiheuttavia taajuuksia. (Blomberg & Lepoluoto 1993–2005, 121).

PA-järjestelmään voi tulla myös sisäisiä häiriöitä. Tällaisia ovat esimerkiksi laitteiden omien komponenttien aiheuttamat kohinat, väärin kytketyt laitteet, maadoitusvirheiden aiheuttamat maalenkit toiseen järjestelmään ja muut järjestelmän laitteet itsessään, kuten huonosti suojattu verkkolaite. (Blomberg & Lepoluoto 1993-2005, 120.)

5.2 Koaksiaalinen häiriöt

Kaapelin toimintaperiaate on epäsymmetrinen. Ulkojohdin, joka toimii paluujohdtimeksi, kytketään usein maan potentiaaliin. Ulkojohtimella on siis kaksi tehtävää: se toimii paluujohdtimeksi, sekä myös sähkömagneettisena suojana erilaisilta häiriöiltä. Pienillä taajuuksilla ulkojohtimeen sen ulkopuolelta kytkeytyvät häiriöt summautuvat signaalipiiriin, mutta suurilla taajuuksilla sen sijaan ulkojohdin toimii tietyin edellytyksin suojana. Suojausvaikutus riippuu kaapelin ulkojohtimen materiaalina käytetystä kuparista, sekä sen rakenteesta. (Koivisto 2010, 50.)

Koaksiaalikaapelin suojaus paranee taajuuden kasvaessa. Suojausvaimennuksen yksikkö on dB. Esimerkiksi antennikaapelin suojausvaimennuksen on oltava vähintään 80 dB:n taajuusalueella 30-1 750 MHz. Vaimennus siis kasvaa taajuuden funktiona. (Koivisto 1996, 26.)

Yleisesti antennikaapelit tulisi pitää mahdollisimman lyhyinä, jolloin signaali ei tarpeettomasti vaimene. UHF-taajuudet vaimenevat VHF-taajuuksia enemmän samalla matkalla, näin ollen olisi yli 10 metrin UHF-kaapelissa ja vastaavasti yli 50 metrin VHF-kaapelissa käytettävä paksumpaa ja pienihäviöisempää koaksiaalikaapelia. Jos signaali heikkenee kaapelin pituuden takia enemmän kuin 8 dB, on häviö korvattava antennivahvistimen ja aktiiviantennin avulla, jotka vahvistavat signaalia. (Haaranen, Sandholm 1994, 133.)

Antennijaottimia käytettäessä yleensä diversity-tekniikassa antennien signaali vaimenee tasapuolisesti kaikille jaetuille antennille. Esimerkiksi Immanuelin tapauksessa signaali vaimenee kahdelle antennille jaettuna n. 3,5-4 dB:n verran, ja vastaavasti kolmelle antennille jaettuna 6 dB jne. Jaottimen aiheuttama vaimentuminen on otettava eräänä häiriötekijänä huomioon antennikaapelia valittaessa sekä signaalin vahvistamista suunniteltaessa. (Haaranen, Sandholm 1994, 133.)

5.3 Lämpötilan ja kosteuden vaikutus

Erilaiset sääilmiöt vaikuttavat äänen ja signaalin kulkuun. PA-järjestelmää kassa-
tessa on otettava huomioon sään aiheuttamat häiriöt ja harmit. Äänennopeus
ilmassa riippuu lämpötilasta, ilmanpaineesta ja muun muassa korkeudesta me-
renpinnasta. Pienet säänvaihtelut ovat vähäisiä äänen kannalta, mutta tarkoissa
mittauksissa voidaan havaita eroja eri iltojen esitysten äänentoiston välillä. (Le-
poluoto & Blomberg 1993–2005, 186–192.)

Eniten lämpötila ja kosteus vaikuttavat kaapeloinnissa, jolloin vesi pääsee her-
kästi laitteistoon aiheuttamaan häiriöitä. Pihalla kaapeloinnin kanssa täytyy olla
erityisen tarkkana. Kaapeleiden liitinkohtien suojaus on tärkeää, jotta signaalia
häiritsevä kosteus ei pääse kondensoitumaan kaapelin sisään. Pelkkä liitinkoh-
tien tiivis teippaus ei estä kosteuden tiivistymistä kaapeliin. Johdon lämmitessä
se höyrystää veden pääsemään läpi tiiviiden teippausten. Talvella tehtyjen ha-
vaintojen perusteella paras suojaus kosteudelta on nostaa kaapelointi ilmaan ja
suojata kevyesti pienellä pussilla. Tiiviisti teipattu muovipussi aiheuttaa saman
ilmiön kuin esimerkiksi liitinkohdan teippaaminen sähköteipillä: kosteus pääsee
kondensoitumaan kaapeliin aiheuttaen häiriötä.

Langattomien lähettimien päässä suurimpana ongelmana talvella on pakkases-
ta johtuen akkujen tai paristojen kestävättömyys. Lähettimien omien akkujen
kestävättömyys johtui ilmeisesti akkujen iästä, eivätkä ne enää sitoneet varaus-
ta luvutulla tavalla. Myös paristojen kohdalla on kestävydessä suuria eroja,

jopa valmistajien lupaamat arvot heittävät suuresti eri paristojen välillä. 1,5 voltin alkaliparistojen kohdalla kesto -25 celsiusasteen pakkasessa vaihteli reilusta kahdesta tunnista vajaaseen puoleen tuntiin. Yllättävintä oli Duracellin kalliin huippumallin litiumparistojen huono pakkaskestävyys. Valmistajan ilmoittamat tunnit eivät täyttyneet lainkaan, eivätkä pakkausselosteessa luvatut pakkaskestävyydet pitäneet paikkaansa. Duracellin Ultra Power AA-paristot hyytyivät vajaassa puolessa tunnissa käyttökelvottomiksi. Halvemman mallin Plus Power AA-paristot sen sijaan toimivat moitteetta harjoitusten ja esitysten ajan, siis reilun tunnin kerrallaan ja varausta jäi vielä jäljelle.

6 Immanuel draama

6.1 Immanuelin historiaa

Immanuel Jouludraama on Pohjois-Karjalassa, Nurmeksen keskustassa kerran vuodessa järjestettävä jouluevankeliumiin pohjautuva ulkoilmateatteriesitys. Esitys toteutetaan harrastajanäyttelijöiden ja talkoolaisten voimin, lisäksi mukana on tekniikanryhmä. Draaman on käsikirjoittanut Eeva Vainio, laulujen runot on kirjoittanut Rauha Kejonen ja musiikin säveltänyt Seppo ”Paroni” Paakkunainen. Tapahtuman tuotannosta vastaa Nurmeksen Immanuel Kannatusyhdistys Ry, Tapio Tiensuun johdolla.

Immanuelia esitetään kerran vuodessa aatonaattona 23. päivä joulukuuta Nurmeksen keskustassa sijaitsevalla harjulla ja kirkkopuistossa. Tapahtumaa seuraa vuosittain noin tuhannesta kolmeen tuhatta katsojaa, ja parhaimmillaan esityksen on nähnyt kerralla 3500 henkilöä. Esitys tapahtuu yhteensä neljässä eri pisteessä, jotka ovat noin 50–200 metrin välimatkojen päässä toisistaan. Katsojista ja näyttelijöistä koostuva kulkue kiertää esityksen aikana Nurmeksen kirkon ympäri Maariankatua, Kirkkokatua ja Karjalankatua pitkin päättyen Kirkkopuistoon. Äänentoisto on rakennettava jokaiselle lavalle erikseen, ja käytännössä

kuuluvuusalue kattaa lähes koko kirkon ympäristön ja kaikkia lavoja kontrolloidaan yhdestä miksauspisteestä.

Immanuel-jouludraamaa on esitetty joka vuosi, vuodesta 1989 ja idean talviteatterin tekemisestä sai kirjailija toimittaja Eeva Vainio. Hänen mukaansa näytelmän lopulliseen syntyyn vaikuttivat kuitenkin useat osatekijät. Ensimmäisen Immanuelin syntysanat lausuttiin Nurmeksen evankelisella opistolla jo vuoden 1989 alussa. Ensimmäisen draaman ohjaajaksi valikoitui teatteritieteitä opiskellut Juha Iso-Aho ja esitys perustui melko tiiviisti Matteuksen, Markuksen ja Luukkaan evankeliumeihin. Myöhemmin myös Johanneksen evankeliumi tuli osaksi käsikirjoitusta. (Tiensuu 2010, 4)

Nurmeksen evankeliselle opistolle perustettiin draamakurssi rehtori Kyllikki Tiensuun ja Iso-Ahon johdolla, jonka kurssilaiset myöhemmin lopputyönään toteuttaisivat Immanuelin ensimmäistä kertaa. Puvustuksen kankaat tulivat lahjoituksin Sasta Oy:ltä, joista ammattikoulun vaatetuslinjan oppilaat räätälöivät puvut ja lavastuksen rakensivat puolestaan ammattikoulun rakennuslinjalaiset rakennusneuvos Pekka Tavin lainaamasta puumateriaalista. Ensimmäisen vuoden esitys keräsi järjestäjien yllätykseksi 2500 katsojaa, mutta se toi myös taloudellista tappiota mukanaan. (Tiensuu 2010, 9)

Vuonna 1991 perustettiin Nurmeksen Immanuel kannatusyhdistys Ry huolehtimaan esityksen toteutuksesta ja kuluista. Historiansa aikana näytelmällä on ollut yhteensä kahdeksan eri ohjaajaa. Näyttelijöitä esityksessä on useita kymmeniä, joista suurin osa koostuu kansankuorossa olevasta kansasta. Lisäksi siinä on yhdeksän henkilöä puherooleissa, joista pysyviä päärooleja ovat: Maria, Joosef, enkeli Gabriel, sekä tietäjät. Mukana näytelmässä on myös vuodesta 1991 ollut mukana aasi, jolla Maria ratsastaa, johdattaen kulkuetta eteenpäin.

6.2 Budjetti

Draaman vuosibudjetti koostuu erinäisistä avustuksista ja myyntitoiminnasta saatavasta rahasta. Kannatusyhdistys on kerännyt varoja mm. arpajaisilla, joulumyyjäisillä, kesätoritoiminnalla, tonkkakeräyksin ja erilaisten oheistuotteiden myynnillä. Yhdistyksen oma toiminta kattaa n. 70–80 prosenttia tuotannon kuluista. Ensimmäisenä vuotena Immanuelin kustannukset ylittivät 40 000 euron rajan (vuoden 2008 rahanarvossa). Siitä lähtien kuluja on pyritty leikkaamaan ja pitämään kurissa. Tänä päivänä vuosi menot ovat kuitenkin tasaantuneet ja vakiintuneet. Budjetti on tällä hetkellä vuosittain noin 15 000 euroa. Tällä rahalla katetaan markkinointi, tekniikka ja työryhmän jäsenten palkkiot. Pohjois-Karjalan Sähkö Oy tarjoaa esityksen tekniikan käyttämän sähkön kahden viikon ajalta. Tämä on suhteellisen suuri summa, koska laitteita pidetään kylmän ja kosteuden vuoksi päällä yötä päivää. (Tiensuu 2010, 15)

7 Äänisuunnittelu

7.1 Projektin aloitus

Äänisuunnittelu alkaa vuosittain jo hyvissä ajoin ennen joulua. Tavanomaiseksi aloitus ajankohdaksi on muodostunut syys/lokakuun vaihde. Prosessi alkaa ohjaajan kanssa keskustelemalla hänen toiveistaan, tulevasta esityksestä ja käytävissä olevista resursseista. Eri ohjaajien näkökulmat antavat vuosi vuodelta uusia ideoita ääni- ja valosuunnitteluun. Ajankohtaisina teemoina ovat olleet muun muassa talvisodan 50-vuotismuisto vuonna 1989, seuraavana vuonna Persianlahden sota ja vuonna 2006 esityksessä nähtiin ohjaaja Janne Suutarin luoma pasifistiksi kääntynyt roomalaissotilas. (Tiensuu 2010, 20) Vuodesta 2011 näytelmän ohjannut Toivo Mikkola sen sijaan on pelkistänyt näytelmää huomattavasti edellisvuosiin verrattuna.

Vaikka Immanuelia on tehty yli 20- vuoden ajan, ei siitä ole jäänyt juurikaan dokumentaatioita edellisvuosien äänisuunnitelmista tai teknisistä raidereista. Vain musiikkien vanhoista ja uusista sovituksista on versioita miltei joka vuodelta, joten käytettävissä on taustanauhoja niin cd:llä kuin c-kasetilla. Toistaiseksi ai-noat digitaaliset materiaalit ovat Matti Kärjen vuonna 2004 Nurmeksen kirkossa äänittämät kappaleet.

Aloitin näytelmän dokumentoinnin vuonna 2009, edellisen teknisen tuottajan tekemien niukkojen muistiinpanojen pohjalta. Näin pystyin tekemään tarpeelliset kalustotilaukset ja järjestämään tekniikan tarpeet budjetin rajoissa. Tehtävä osoittautui haasteelliseksi, koska ilman tarkkoja kalustotietoja oli mahdotonta arvioida metri- ja kappalemääräisesti kaluston todellista tarvetta. Niinpä vuosi 2009 olikin vielä vähän hakuammuntaa kaluston kanssa. Lisäkustannuksia aiheutui kaluston lisähankinnoilla, koska alustavat arviot olivat osoittautuneet virheellisiksi ja vajeellisiksi. Myös kaiuttimien sijoittelu oli suunniteltava lähes tyhjästä vain viime vuosien muistikuvien perusteella. Mäenharjalle sijoitetut kaiuttimet on suunnattava tarkoin, jotta äänentoisto kattaisi suurimman osan yleisöstä.

Äänimaailman kasaaminen oli aloitettava alusta ja luotava uudet efektit tilalle edellisen äänimiehen viedessä suurimman osan äänikirjastosta mennessään. Kappaleita ja erilaisia efektejä oli etsittävä vuosien varrella luodusta massiivisesta Immanuelin cd-kirjastosta. Osassa efekteistä päädyttiin kokonaan uuden efektin luomiseen. Kappaleita tuodaan myös digitaaliseen muotoon c-kaseteilta, mikäli ohjaaja haluaa käyttää kappaleiden vanhempia versioita.

Joulukuun kaksiviikkoinen harjoitus ja kaluston kasausaika pyhitetään vain PA- ja valojärjestelmien paikoilleen asentamiseen, valo- ja äänisuunnitelmien tulee siis olla valmiina viimeistään marraskuussa. Myös ohjelmistopäivitykset tapahtuvat ennen joulukuuta. Vuonna 2010 työryhmäämme liittyi vuosien tauon jälkeen tohtori Ilkka Eisto, joka toi tietotaitoa ja osaamista joukkoomme. Yhdessä hänen ja Otto Wahlgrenin kanssa kokosimme vuoden 2010 Immanuelin äänimateriaalin nykyiseen malliinsa. Vuoden 2010 aikana langaton järjestelmä saa-

tiin nykymuotoonsa häviöttömimpien antennikaapeleiden myötä ja mikrofonien pätkimisongelmat saatiin rajattua kokonaan pois.



Kuva 5. PA:n sijoittelu, kuvaan on merkitty kaiuttimien sijainnit, sekä miksaus-koppi sinisellä ja esiintymislavojen paikat numeroiduin vaalealla pohjalla. Lavoilla neljä ja viisi on käytössä sama PA. (Kuva Eniro 2012.)

Myös teknisten parannusten kehittäminen kuuluu jokavuotiseen äänisuunnitteluun ja esityksen valmisteluun. Edellisten vuosien havainnointien perusteella pyritään parantamaan kaiutinjärjestelmän kuuluvuutta. Kaiutin sijoittelulla korkealle mäenharjalle on tärkeä osansa. Huomioon tulee ottaa myös lähialueen kerrostalot, mm. koulut, kirkko, virastotalo, jotka aiheuttavat ikäviä heijastuspintoja äänialloille. Yllä olevan karttakuvan (Kuva 5) perusteella näkyvät myös pinnanmuotojen suuret vaihtelut. Kuuluvuus on yleensä parhain reilun 20 metrin päästä mäenrinteen juurelta, sillä jyrkän rinteiden juureen jää pienoinen kuuluvuuden katvealue, sillä kaiuttimia ei voi tilitä alaspäin rinteeseen. Line-array järjestelmällä tämä ongelma poistuisi, mutta tämä on tiimipalaverissa havaittu liian kalliiksi vaihtoehdoksi toteuttaa niin usealle lavalle.

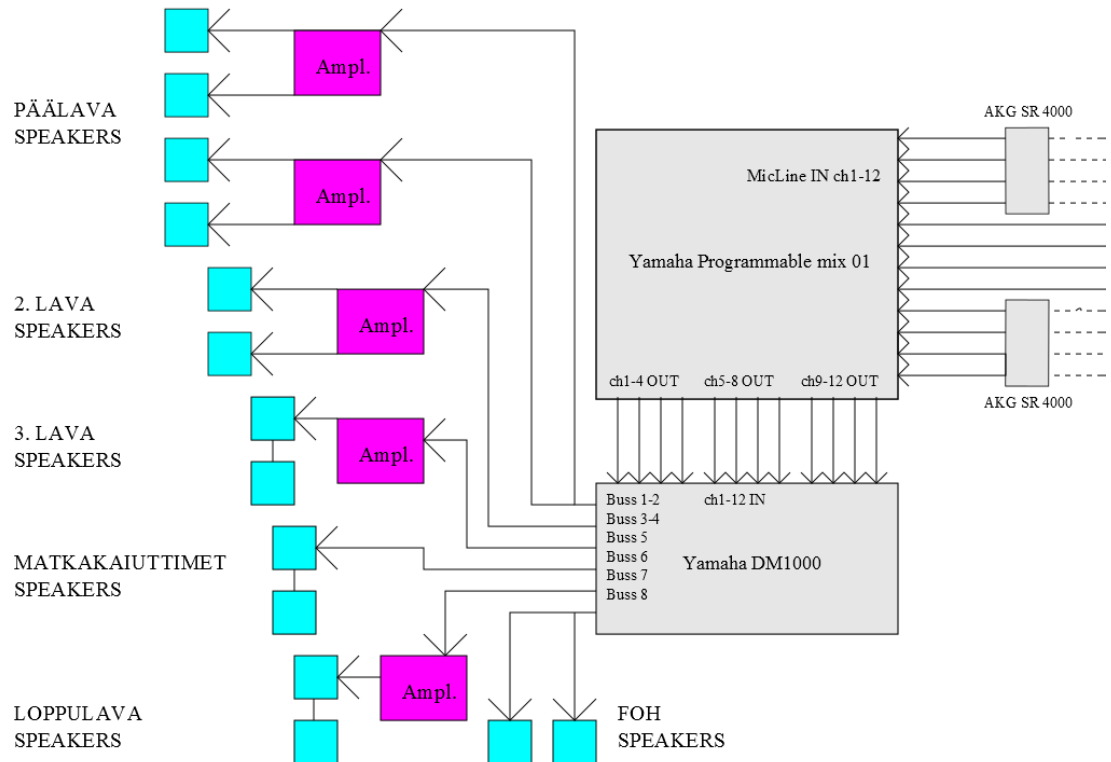
7.2 Signaalireititys

Signaali lähtee mikseriltä useaan eri pisteeseen vahvistimille, kuitenkin ainoastaan Maariankadun lavoilta (lavat 1 ja 2) stereona. Muille näyttämöille ja matkakaiuttimille johtaa monosignaali, sillä tarvittavaa xlr-kaapelia ei ole käytettävissä tarpeeksi jotta jokaisessa pisteessä stereopari toteutuisi. Stereoparin luominen jokaiselle lavalla olisi myös sinänsä turhaa, sillä suuri osa äänitetystä materiaalista on mono-tiedostona.

Signaaliketju kulkee antennivastaanottimien kautta Yamahan DM1000 digitaalimikseriin, josta summa kulkee Yamahan Programmable 01 mikserin kautta takaisin DM 1000:lle. Omni out 1-9 toimivat ulostuloina,

- ch1-2 päälavan stereopari
- ch3-4 toisen lavan stereopari
- ch5 kolmannen lavan monosignaali
- ch6 kolmannen ja neljännen lavan välin matkakaiuttimille
- ch7 loppulavan monosignaali
- ch8-9 FOH kuuntelu

DM 1000 equalisaattorin kautta hoituivat lähtöjen masterit, ja promix 01:llä mikrofonien equalisointi.



Kuva 6. Signaaliketju Immanuelissa. Kanavat 1-4 tulevat neljältä langattomalta mikrofonilta, kanavat 5-8 kondensaattori mikrofoneilta (kaksi varalla) ja kanavat 9-12 myös neljältä AKG:n langattomalta mikrofonilta, vastaanottimien kautta. (Kuva Heikki Pieviläinen 2013.)

8 Immanuel 2012

8.1 Harjoitusviikot ja kenraaliharjoitus

Kaluston hankkimiseen ja kasaamiseen kului joulukuussa kaksi viikkoa. Pääosa laitteistosta hankittiin vuokralle Kuopiosta ja Joensuusta. Äänentoiston rakentaminen aloitettiin 14. päivä joulukuuta, jonka jälkeen pari päivää myöhemmin aloitettiin valojen asennus. Esiintyjät aloittivat harjoittelun ohjaajan johdolla aikaisemmin joulukuussa sisätiloissa ja siirtyivät harjun maastoon 16. päivä, kun olimme saaneet valaistusta jokaiselle lavalle. Harjoituksia ennen kenraaliharjoit-

tusta ja esitystä kertyi yhteensä kuusi kertaa, joista vain viimeisin harjoitus ennen kenraalia oli täydellinen ja yhtenäinen läpimeno.

Kenraaliharjoitus pidettiin 22. päivä, eli esitystä edeltävänä iltana, jolloin paikalla oli noin 50 näyttelijöiden sukulaista ja ystävää seuraamassa draamaa. Kenraaliharjoitusta edelsivät suuret tekniset ongelmat, langattomien mikrofoniin lähettimien minixlr-kaapeleiden inputtien alkaessa pettää pakkasesta, iästä ja kovasta käytöstä johtuen (Kuva 7).



Kuva 7. AKG PT 4000 -sarjan taskulähetin avattuna ja liitin uudelleen paikoilleen kolvattuna (Kuva: Heikki Pieviläinen 2012).

Ongelmat saatiin korjattua avaamalla lähettimet ja kolvaamalla sisääntulojen liittimet uudelleen. Osassa lähettimistä pelkkä teippaus riitti estämään kosketushäiriöstä johtuvan rutinan. Myös kolvatut yksiköt saivat seuraavaksi tuhdit teippaukset liitinkohtien ympärille aina ennen harjoituksia ja esityksiä.

8.2 Esitys 23.12.2012

8.2.1 Maariankadun päälava

Itse jouluaatonaaton esitys alkoi kello 18 kirkonkellojen soitolla. Olin yhteydessä suntioon, joka laittoi kellokoneiston soimaan minuuttia ennen klo 18, sillä kirkon kellokoneiston käynnistyminen kestää minuutin verran. Päälavalla PA:na oli Electric Voicen yläpää ja T-180 18" tupla alapää, joista subwooferit sijoitettiin lavan keskelle vaihevirheen minimoimiseksi (Kuva 8). Kaikki sujui päälavalla hyvin. Äänen tasoja oli pudotettu valmiiksi hieman harjoituksiin nähden, sillä olimme saaneet palautetta, että ääni PA:sta tulee liian lujaa ulos. Tämä oli hankalaa huomata, sillä itse miksauspisteeseen PA:n sointi ei kuulu eikä yhden teknikon havainnoinnit harjoitusten aikaan riittä havaitsemaan kuuluvuutta useasta pisteestä. Maariankadun pituudesta (125 metriä), leveydestä (30 metriä) ja solamaisesta muodosta johtuen ääni lokalisoitui eri tavoin eri paikasta kuultuna.



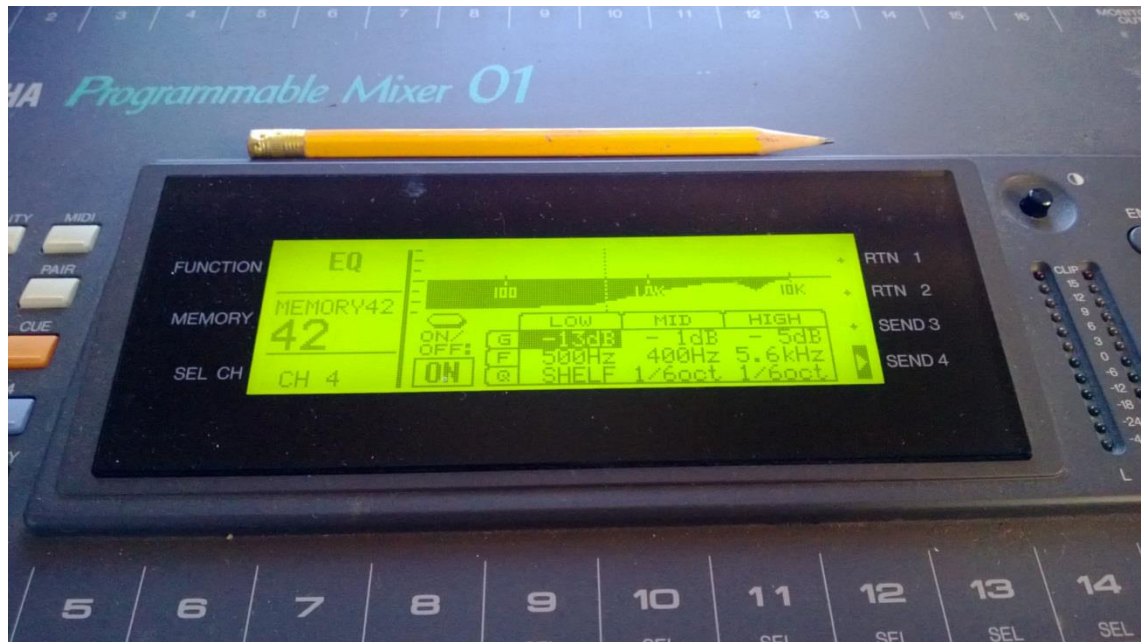
Kuva 8. Päälava kuvattuna päiväsaikaan, Maariankadun yläpäästä katsottuna. EV:n subwooferit ovat sijoitettuna keskelle vaihevirheen poistamiseksi. EV yläpää rakennustyömaatelineillä lavan molemmin puolin. (Kuva: Heikki Pieviläinen, 2012)



Kuva 9. Päälava illalla ennen esitystä valaistuna. (Kuva: Kimmo Jalkanen, 2012)

8.2.2 Maariankadun toinen lava

Toiselle lavalle Maariankadun yläpäähän Herodes-kohtaukseen siirtyminen eteni hyvin. Päälavan PA:n äänentasoja laskettiin vähitellen ja siirrettiin äänen pääpaino tulemaan toisen lavan EV:n kolmisatasista jättäen kuitenkin päälavan PA:n taustatukea antamaan. Katsojien asemat lavojen siirtymien välillä olivat melko hajaantuneet, sillä osa yleisöstä oli vielä sijoittunut Maariankadun alapäähän. Havaittiin hyväksi antaa äänelle hieman lisätukea päälavalta, vaikka tapahtumat olivatkin eri suunnalla äänilähteestä. Toisella lavalla käytössä olivat näyttelijöiden henkilökohtaisten langattomien mikrofoniin lisäksi kolme AKG:n CK98 -kondensaattorimikrofonia, joihin tietäjät puhuivat. Näyttämö oli sijoitettu korkealle mäelle, jossa tuuli huomattavasti kovempaa kuin alempana solassa. Mikrofonit olivat suojattu tuulisuojin, mutta silti jouduin tekemään suuret taajuuskorjaukset ääneen, ettei tuuli aiheuttaisi valtavaa kiertoa järjestelmään.



Kuva 10. Tietäjien kondensaattorimikrofonin julma taajuuskorjaus. Puhujien etäisyys mikrofoniin pakotti leikkaamaan reilusti alapäättä pois, jotta valtavilta kierroilta välttyttiin. (Kuva: Heikki Pieviläinen 2012.)

Equalisointi oli onnistunut eikä kiertoa tai huminaa syntynyt. Onneksi kyseessä oli vain kolme lyhyttä, muutaman sanan repliikkiä, jolloin äänen omituisuutta ei katsojan näkökulmasta juurikaan havainnut. Puheääni ei kärsinyt huomattavasti noin radikaalista leikkauksesta, parempi että ääni kuului yleisölle ja kierroilta välttyttiin.

8.2.3 Kirkkokadun lava

Kolmannelle lavalle siirryttäessä myös langattomien mikrofoniin antennia siirrettiin lähemmäs kaukaisinta majatalokohtausta ja myös antennin kaukaisinta sijoituspistettä. Pakkasessa käpristynyt koaksiaalikaapeli joutui liikuttelussa lujille, sillä se tarvittiin miltei täyteen sadan metrin mittaan, jotta se ylettyi sijoituspaikkaansa lähelle kirkon etuportaita. Maanmittauslaitoksen matkamittauksen mukaan tuo matka on yli 80 metriä linnuntietä pitkin, jolloin maastossa lumipenkköjen ja hankien yli kulkiessa etäisyys lähentelee 90 metriä.

Antennin paikan valinta oli hankala kaapelin loppumisen ja maaston esteiden takia. Kohtaus tapahtui kirkon etuportilla, ja ensimmäiset vuorosanat alkoivat jo tekniikan vastustelusta huolimatta kirkon portaiden puolivälissä. Tällöin lähettimien ja antennin väliin tuli maata, suuria kuusia, ja majatalon lavastus. Signaalin esteetön kulku täytyi testata usean päivän aikana, jolloin lähes täydellinen kuuluvuus saatiin hiottua ja venytettyä alkamaan kuudennesta portaasta ylöspäin.

Kolmannella lavalla suurimmaksi ongelmaksi koitui antennin sijoittelun lisäksi rakennusten aiheuttamat heijastukset. Pintojen heijastukset vaikuttavat oleellisesti kuullun äänen laatuun ja vaikutus voi näin ollen olla positiivinen tai negatiivinen, riippuen heijastuksen suunnasta suoraan ääneen (Haaranen, Sandholm 1994, 37). Kirkon eteen sijoitettu PA oli kohdistettu Kirkkokadun suuntaan, suurinta yleisöä kohti, jolloin tien toisella puolella sijaitseva virastotalo heijasti äänen voimakkaasti takaisinpäin. Kampasuodinilmiö esiintyi voimakkaana muuttamassa pisteessä pitkin Kirkkokatua.

8.2.4 Kirkkopuisto

Kolmannen lavan majatalo kohtausten jälkeen kulkue eteni hyvin loppuun asti. Millään alueella mikrofonit eivät pätäneet ja kuuluvuus oli hyvä ja kattava. PA:n suuntaukset olivat onnistuneet hyvin ympäri kirkkoa ja kulkueen joukossa kulkenut tekniikko kertoi äänen kuuluneen hyvin kauimmaisiin paikkoihin asti. Tämä tosin oli jo testattu ennen esitystä, mutta tuhansien ihmisten massa ja talviväestös imevät ääntä ja kuuluvuus joihinkin osiin katuja voi heikentyä. Kolmannen ja neljännen lavan väliin oli myös sijoitettuna kaksi Alton 12" -yläpäästä tukemaan Karjalankadun kuuluvuutta.

Kulkueen saapuessa itse Kirkkopuistoon osa yleisöstä jäi harmillisesti Karjalankadun yläpäähän, josta näkyvyys ja kuuluvuus lavalle olivat huonoa. Tämä myös esti joidenkin kymmenien ihmisten näkyvyyden kokonaan viimeisiin kohtauksiin. Tilannetta oli hankala ennakoida etukäteen, sillä näyttelijöiden muodostaman kansankuoron tehtävänä oli johdattaa yleisö ennakolta oletettuun

paikkaan. Onneksi suurin osa yleisöstä levittäytyi seuraamaan loppukohtausta pitkin kirkkopuistikkoa.

9 Johtopäätökset ja yhteenveto

Immanuelia on nyt aikanani tehty kymmenen kertaa. Tuossa ajassa kehitys on ollut mielestäni huikeaa ja esityksen teknillinen toteutus on parantunut vuosi vuodelta. Hyvänä esimerkkinä vuodet 2010–2012, jolloin esityksen äänentoistossa ei ole tapahtunut minkäänlaisia häiriöitä, eikä signaalin pätkimisiä. Toden­simme sen että antennikaapelin laadukkuudella ja antennien huolellisella sijoit­telulla saadaan haastavassakin maastossa turhat katvealueet ja häiriöt pois. Myös signaaliketjun eri osien huolellinen suojaus säänvaihteluilta ehkäisee häi­riöiden syntymistä.

Äänisuunnittelun ja harjoitusten alkaessa on hankala vielä tietää tarkalleen mis­sä mitäkin tulee tapahtumaan. Niinpä äänisuunnittelu elää koko näytelmäpro­sessin ajan aina harjoituksien alusta itse esitykseen. Edellisvuosina hyviksi ha­vaitut antennipisteet eivät välttämättä pädekään seuraavana vuotena kun koko kohta­us on voitu siirtää eri lokaatioon.

Antennikaapeleina käytettävien RG58- ja Aircell 7 -koaksiaalikaapeleiden välillä oli valtaisa ero, koska RG58-kaapelia käytettäessä häviö oli kaksi kertaa suu­rempi kuin keskijohtimeltaan suuremmassa Aircell seitsemässä. Jatkossa tulen perehtymään vielä uusiin käytettävissä oleviin koaksiaalikaapeleihin, jotta sig­naalihäviöt saataisiin kurottua mahdollisimman minimaalisiksi. Esimerkkeinä mahdollisista kaapeleista voidaan mainita Ecoflex 15 Standart ja Ecoflex 15 Plus, joiden vaimennuskerroin vastoin on yli puolet pienempi kuin Aircell 7:ssä. Myös kaapeleiden lämpötila-alue on laajempi ja niiden toiminta lämpötilaksi lu­vataan -55 ... +85°C. Tämä mahdollistaisi toimintavarmemman käytön myös kovimmilla pakkasilla. Kuitenkin mahdollinen paksumpien ja laadukkaampien

koaksiaalikaapeleiden käyttö kolminkertaistaa hankintakustannukset, sillä Air-cell 7 -kaapelin metrihinta on 2,37 e/metri ja Ecoflexit halvimmillaan 6,9 e/metri.

Langattoman signaalin kannalta paras tulos saavutettaisiin asentamalla jokaiselle lavalle oma diversity-antenniparinsa, jolloin antennit saataisiin sijoitettua lähelle näyttämöä. Tällöin mahdolliset esteet ja pinnanmuodot eivät häiritsisi ja estäisi signaalin kulkua. Samalla välttyttäisiin myös turhalta antennien siirtelyltä ja kaapelin kulumiselta. Mikäli alueen saisi suljettua liikenteeltä, niin antennikaapeli voisi olla kirkon pihalla niin sanotusti kiinteänä asennuksena yhtämittaisesti kahden viikon ajan. Myös langattomien mikrofoniin sijainnilla näyttelijän keholla on oma merkityksensä, samoin myös alkaliparistojen kestävyydellä. Ääriolosuhteissa kovassa pakkasessa kalliimmilla testivoittaja paristoilla ei ollut minkäänlaista etua toimivuudessa. Sen sijaan lähettimien suojaksi laitettut lämpöpussit edesauttoivat paristojen kestävyyttä, tosin minimaalisesti. Pussien toimivuus olisi edellyttänyt jatkuvaa hankaamista ja pussien liikuttelua, jotta kemiallista reaktiota olisi päässyt syntymään. Pussien ja lähettimien ollessa vyölle kiinnitettynä näin ei päässyt tapahtumaan.

Pientä hiottavaa toki esityksestä ja suunnittelusta aina löytyy. Huomasin vasta esityksessä, kun musiikkia ajetaan päälavan kaiuttimista oikealla teholla, että eräässä kappaleessa kuului pienoinen särö. Jälkeenpäin tutkin asiaa ja selvisi että kyseinen särähdys oli tullut jo äänitystilanteessa. Myöhemmin esityksen jälkeen kappaletta kuunnellessani ja käsitellessäni sain kompuroitua äänen huomattavasti heikommaksi ja käyttökelpoiseksi minimoimalla räjähdysten aiheuttavan taajuusalueen voimakkuuden. Myös vahvistimien sijoittelussa olisi vielä pohdittavaa, kirkon eteisen kylmyys hieman hidasti vahvistimen toimintaa ja vaarana on kosteuden pääsy laitteeseen. Tämä voi aiheuttaa vaaratilanteen, jossa vahvistin menee oikosulkuun synnyttäen jopa tulipalon. Jos vaihtoehtoista sijoituspaikkaa vahvistimelle ei löydy, niin täytyy asentaa lämmitin kirkon eteiseen.

Muut ulkoilman vaikutukset ääneen jäivät äänentoistoa toteutettaessa yllättävän vähäisiksi. Harjoitusjakson ajan pidimme kaiuttimissa pientä noin 100 Hz:n kohinaa päällä, jotta kalvot liikkuisivat päivän ja yön ajan, eivätkä ne pääsisi koh-

mettumaan ja repeilemään uudelleen käynnistettäessä pakkasessa. Niinpä laitteisto olikin 24 tuntia vuorokaudessa päällä yhteen putkeen kahden viikon ajan. Myös valaistusta pidettiin yötä päivää noin 20-30%:n tehoilla päällä. Pakkanen ei sinänsä häirinnyt signaaliyhteyksiä, mutta mahdollisesti aiheutti muutaman kaiutin elementin rikkoutumisen ja ne jouduttiin korjaamaan kalvoitus-sarjalla ennen esitystä. Lämpötilan vaihtelu sateisesta nollakelistä kovaan -30 celsiusasteen pakkaseen voi aiheuttaa tuhoja pahvikartiollisiin kaiuttimiin elementtien kostuessa ja sen jälkeen jäätyessä. Pakkasen vaikutusta ei tässä tapauksessa voi todentaa varmaksi, koska alueella sattui samana yönä ilkivaltatekoja, jotka mahdollisesti aiheuttivat myös kalvojen rikkoontumisen. Rikkoutuneita elementtejä oli yhteensä kolme kappaletta ja samana yönä alueelta varastettiin valaisimia sekä rikottiin lavasteita.

Koaksiaalikaapelin kohdalla huolta aiheutti kylmyys, joka vaikeuttaa kaapelin siirtelyä. Noin 100 metrin mittainen painava ja kohmeinen koaksiaalikaapeli ei ole kaikkein taipuisinta ja suurena riskinä on kaapelin vaurioituminen sitä liikutellessa. Valmistajan lupaama kaapelin -30°C pakkasraja joutui myös koetukselle harjoitusviikkojen aikana pakkasen ollessa parhaimmillaan -31 celsiusastetta.

Näiden havaintojen perusteella päädyin siihen johtopäätökseen, että sääilmiöiden pitäisi olla hyvin äärimmäisiä ja voimakkaasti vaihtelevia, jotta ne vaikuttaisivat äänen ja signaalin kulkuun merkittävästi. Esimerkkinä lämpötilanvaihtelu plus- ja miinusasteiden välillä aiheuttaa kosteuden pääsyä kaapeleihin ja samalla laitteiden rikkoutumista. Äänentoiston kannalta kova myrskytuuli voi nostaa tai laskea ääniaaltoa huomattavasti. Erot voivat olla jopa 20:n desibelin suuruisia. (Lepoluoto Blomberg 2005, 188). Langattomien mikrofoniin alkaliparistojen kestävyys joutui myös kovalle koetukselle pakkasen kiristyessä alle -20 celsiusasteeseen, jolloin toiminta-aika väheni vaihtelevasti reiluun tuntiin.

Lähteet

- Autio, I. 2004. Kaapeleiden paloturvallisuus. Espoo: Sähköinfo.
- Blomberg, E. 1989. Audiosanasto englanti-suomi. Helsinki: Valtion painatuskeskus.
- Demari, 2009. Jouludraama on haaste valo ja äänisuunnittelijoille.
<http://www.demari.fi/arkisto?id=8805> 23.5.2013.
- Dipol Sp. J. 2013. Muunnostaulukko.
http://www.dipolnet.com/conversion_table_-_dbuv_to_uv_mv_bib04.htm 23.5.2013.
- Eduskunta, 1991. Asiakirja RA 673/1991 vp.
<http://www.eduskunta.fi/triphone/bin/akxhref2.sh?{KEY}=RA+673/1991> 23.5.2013.
- Geier, J. 2005. Langattomat verkot: Perusteet. Helsinki: IT Press.
- Haaranen & Sandholm. 1994. Äänentoistojärjestelmät. Espoo: Sähköurakoitsijaliiton koulutus ja kustannus.
- Hovatta & Ristilä. 2008. Antennijärjestelmät. Espoo: Sähköinfo.
- Koivisto, P. 2010. Tiedonsiirtokaapeli valinta. Espoo: Sähköinfo.
- Koivisto, P. 1996. Tiedonsiirtokaapeli valintaopas. Espoo: Sähköinfo.
- Laaksonen. 2006. Äänityön Kivijalka. Helsinki: Idemco Oy/Riffi-julkaisut.
- Lehto, A. 2006. Radioaaltojen maailma. Helsinki: Otatieto.
- Lepoluoto, A. & Blomberg, E. 1993. Audiokirja. Espoo: Tapiolan viestintäsuunnittelu.
- Lepoluoto A. & Blomberg E. 1993-2005. Audiokirja.
http://ari.lepoluo.to/audiokirja/Audiokirja_luku_7.pdf 23.5.2013.
- Naval Electronics Inc. 2003.
<http://www.naval.com/help/db-x.htm> 23.5.2013.
- Paratronic. 2011.
<http://www.paratronic.fi/vaimennus.shtml> 23.5.2013.
- Riitamaa, K. 2008. Analogisten langattomien mikrofoni vahvuudet ja yleisimmät ongelmat esityskäytössä.
http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/10508/Riitamaa_Kaisa.pdf?sequence=2 23.5.2013.
- Savon Sanomat, 2012
<http://www.savonsanomat.fi/video-ja-kuva/kuvasarjat/jouludraamaa-immanuel/1282506#1281894> 23.5.2013.
- Suhonen, J. 2012. Kiinteistöjen telekaapelit.
https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41685/Suhonen_Joonas.pdf?sequence=1 23.5.2013.
- Tiensuu, K. 2010. Immanuel Jouludraama – Kaksikymmentä vuotta talviteatteria Nurmeksessa. Joensuu: Karjalan teologisen seurau julkaisu 1
- Tiensuu, T. 2013. Haastattelu 15.1.2013.
- Veis, T. 2007. Selection And Operation Wireless Microphone Systems.
http://55d5340a043a828856e1-f62de27af599bb6703e11b472beadbcc.r28.cf2.rackcdn.com/publication/upload/539/us_pro_wirelessmicrophones_yea.pdf 23.5.2013.
- Viestintävirasto. 2012.
https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet/radioluvat/langattomatmikrofonit_jakamerat.html 23.5.2013.

- Yle Pohjois-Karjala. 2010. Immanuel hiljentää joulun viettoon
http://yle.fi/uutiset/immanuel_hiljentaa_joulunviettoon/5691568
23.5.2013.
- Wallin, P. 1991. Sähkömittaustekniikan perusteet. Espoo: Otatieto.
- Wikipedia. 2013 a.
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Koaksiaalikaapeli> 23.5.2013.
- Wikipedia. 2013 b.
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Mikrofoni> 23.5.2013.